

구름 미끄럼 타원 접촉시 피로균열 시작수명 예측

김태완*(부산대학교 기계기술연구소), 이상돈(부산대학교 정밀기계공학과), 조용주(부산대학교 기계공학부)

주제어 : 접촉 피로 수명, 접촉 응력 해석, 타원 접촉

일반적으로 접촉 피로 마멸은 구름 또는 미끄럼 접촉시 작용하는 반복 응력에 의해 표면과 표면 아래에 균열이 형성되고 성장 및 합체의 과정을 거쳐 표면의 일부가 떨어져 나가는 손상으로 기어나 캠-롤러, 구름 베어링과 같이 구름-미끄럼 접촉상태로 운전하는 기계요소에서 가장 중요하게 고려되어야 할 파손 메커니즘이다. 특히 기어나 구름 베어링 같이 고주기 접촉 피로 특성을 지니는 기계요소의 수명은 피로수명 실험과 통계적 기법을 이용한 Weibull 이론을 기초로 한 수명식을 대부분 사용하고 있다. 그러나 최근의 기계요소는 갈수록 고부하 용량, 고신뢰성을 요구하고 있기 때문에 이러한 경험식들로는 한계가 있으며 이상의 목적에 좀더 부합할 수 있는 새로운 피로 수명 예측 모델이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 구름베어링이나 기어와 같이 고주기 피로특성을 지니는 기계요소의 수명예측에 적용할 수 있는 응력 기반의 접촉수명 예측기법을 개발하고자 한다. 피로수명을 예측하기 위해서는 접촉압력 및 표면아래의 정확한 응력계산이 요구되며 본 연구에서는 영향계수법과 사각조각면의 해를 이용한 수치적 접촉해석방법을 적용하였다. 또한 접촉 문제의 경우 표면 아래의 응력 상태는 다축 비비례 하중 (multi-axial non-proportional loading)이 작용하는 경우이므로 여기에 적용할 수 있는 피로 판정식이 필요하다. 본 논문에서는 세 가지 부류의 피로 이론을 사용하고자 한다. 먼저 피로 수명에 관계되는 응력 불변량(stress invariant)을 사용하여 판정하는 방법과 균열이 시작되는 임계면을 정의하여 그 면에 대한 응력과 변형률 정보를 이용하여 피로를 판정하는 임계평면 이론, 그리고 마지막으로 최근에 많이 연구되고 있으며 금속의 결정(grain) 크기의 영역에 해당하는 mesoscopic 접근법을 사용하였다.

Fig. 1은 타원 형상의 Hertz 접촉 압력이 반무한체 표면 위를 지나가는 상태를 도식적으로 나타낸 것이다. 반 무한체 표면 아래의 임의의 한 점 M 은 시간에 따라서 다른 응력 상태에 놓이게 된다. 이 점 M 이 $-10b_x$ 에서 $+10b_x$ 까지 이동하는 동안에 받게 되는 응력 상태를 접촉 해석 기법을 통해 구할 수 있고 이 응력 정보들을 각각의 피로수명 판정식에 적용함으로써 피로수명을 구할 수 있다. 피로해석을 수행하기 위해서는 재료 파라미터 값이 요구되는데 해석에 사용된 재료는 AISI 1040 강으로 피로한도에 해당하는 수명은 10^7 사이클로 정의한다. Fig. 2는 마찰계수의 변화에 따른 피로한도에 해당하는 최대 Hertz 압력의 변화를 도식한 것이다. 즉, 각각의 점들은 10^7 사이클 수명에 대한 임계 최대 Hertz 압력을 나타낸다고 할 수 있다. 해석 결과 피로한도에 해당하는 임계 최대 Hertz 압력을 예측한 결과, $\mu=0$ 일 때 Crossland 조건이 1.938GPa, Dang Van 조건이 1.787GPa, Matake 조건이 1.265GPa로 각각 나타났으며 세 모델 모두 마찰계수가 어느 특정한 값에 다다르게 되면 균열을 유발시키는 임계 하중이 감소하고 균열이 시작되는 위치 또한 표면아래에서 표면위로 급격히 이동함을 확인하였다

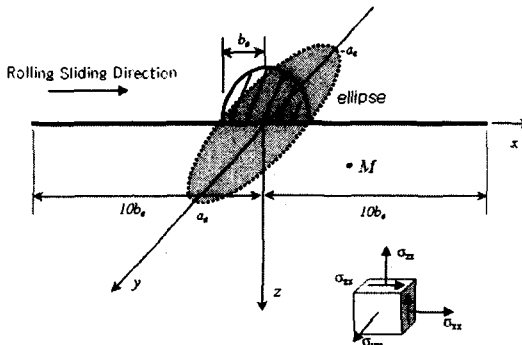


Fig. 1 Elliptical contact used in contact fatigue simulation

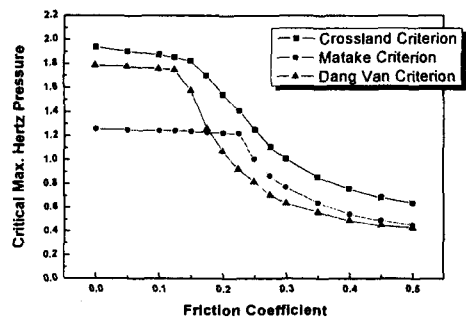


Fig. 1 Critical Max. Hertz pressure vs friction coef.